

PREDIKSI GELOMBANG SIGNIFIKAN SEKITAR PANTAI MAKASSAR UNTUK PERENCANAAN PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR PANTAI

Frans Rabung

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10 Tamalanrea - Makassar, 90245
e-mail: frabung@hotmail.com

Abstrak

Rencana Presiden Jokowi untuk membangun tol laut dan menjadikan Indonesia sebagai poros maritim dunia menjadikan peran Pelabuhan Makassar semakin penting, selain sebagai *Gate Port* juga sebagai *Hub Port* utama sistem pelayaran Indonesia. Tidak hanya pelabuhan yang akan dikembangkan tetapi semua struktur dan fasilitas di sepanjang pantai Makassar. Karena data gelombang masih langka padahal gelombang adalah penyebab utama yang merusak bangunan pantai, maka studi ini mencoba menjawab persoalan dengan menggunakan data angin sebagai alat untuk meramal gelombang signifikan.

Kata-kunci: angin, gelombang signifikan, bangunan pantai, mawar angin, pelabuhan

Abstract

President Jokowi's plan to build a sea toll and develop Indonesia to be the world's maritime axis will affect the function of Makassar Port to become more important, besides as Gate Port it also will function as main Hub Port for Indonesian shipping lines system. Not only ports that will be developed but also all kinds of coastal structures and facilities along Makassar coast. Because wave data is still rare whereas wave is the main destructive force against coastal structures, therefore this study tries to answer the problem by using available wind data as the tool for forecasting significant waves.

Keywords: wind, significant wave, coastal structures, wind rose, port

PENDAHULUAN

Harian KOMPAS hari Minggu tanggal 23 Nopember 2014 memberitakan bahwa Pemerintahan Joko Widodo – Jusuf Kalla telah mencanangkan Indonesia harus menjadi poros maritim dunia. Sebagai langkah pertama adalah membangun tol laut untuk memfasilitasi angkutan laut antar pulau dari ujung Barat sampai ke ujung Timur Indonesia yang cepat, yang dapat menunjang program utama pemerintah yaitu peningkatan dan pemerataan kesejahteraan rakyat. Karena posisi geografisnya yang terletak di tengah-tengah kepulauan Indonesia, pada perpotongan jalur utama pelayaran Laut Jawa dan Selat Makassar, maka peran kota Makassar dalam mendukung suksesnya program tersebut adalah sangat penting dan sentral. Untuk itu perlu dibangun infrastruktur-infrastruktur dan fasilitas-fasilitas pendukung seperti pelabuhan dalam yang aman, *energy centre* dan lain-lain di sekitar pantai Makassar.

Perencanaan infrastruktur dan bangunan pantai memerlukan data *oceanography*, seperti pasang-surut, gelombang dan sebagainya, yang akurat dan cukup detail. Sayangnya sekali data seperti itu masih sangat kurang di Indonesia, terlebih lagi di Makassar. Data yang terpenting adalah data gelombang yang kontinyu untuk jangka waktu yang cukup lama untuk keperluan peramalan gelombang-gelombang ekstrim dalam periode waktu yang akan datang. Sayangnya justru data gelombang ini yang paling sulit diukur dan paling mahal biayanya.

Akibat ketiadaan data gelombang yang valid serta perencanaan yang baik, banyak bangunan pantai yang rusak sebelum waktunya seperti beberapa groin untuk pelindung pantai Akkarena (Gambar 1), pemecah gelombang yang terbuat dari susunan silinder beton dan *sheet pile* beton prategang di daerah Center Point of Indonesia (COI) dll. Bahkan Sakka dkk melaporkan [1] bahwa sudah terjadi abrasi sejauh 181.1 meter pada suatu titik di tonjolan pantai Tanjung Bunga. Sebaliknya Kamaruddin Umar dkk melaporkan [2]

telah terjadi pendangkalan yang cepat di Teluk Losari yang menyebabkan terbentuknya kantong-kantong air mati yang tidak sehat buat lingkungan.

Sebagai alternatif, data angin dapat dipakai sebagai alat untuk meramal gelombang signifikan, karena gelombang yang paling banyak berpengaruh di pantai adalah gelombang yang ditimbulkan oleh angin. Karena keadaan angin terutama angin musim, berbeda-beda di setiap pantai akibat adanya pengaruh pulau-pulau, selat dan laut maka setiap lokasi di Indonesia mempunyai karakteristik angin dan gelombang yang unik.



Gambar 1: Suatu senja di Pantai Akkarena, Tanjung Bunga. Tampak konstruksi groin yang sudah hancur dan pantai yang sudah tergerus.

Hasil studi ini adalah prediksi gelombang-gelombang signifikan yang utama dari berbagai arah angin di pantai Makassar yang akan sangat berguna bagi pembangunan bangunan-bangunan pantai dan pekerjaan-pekerjaan pemeliharaan pantai.

METODE PENELITIAN

Data Angin

Data angin diperoleh langsung dari Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar. Data ini direkam secara ‘real time’ di Stasiun Maritim Paotere yang terletak tepat di tepi laut pantai Makassar pada koordinat 5006’37.63” LS dan 119025’11.61” BT (Google Earth). Alat ukur anemometer yang terpasang di lapangan terbuka pada ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah mengirim data kecepatan dan arah angin setiap saat langsung ke sistem komputer yang terpasang dalam kantor Stasiun yang terletak di dekatnya. Data direkam berupa kecepatan angin rata-rata dan maksimum (*wind gust*) per jam dan dikirimkan langsung ke BMKG di Jakarta dan ke pusat pengelolaan data cuaca global (pengukuran sebenarnya hanya 10 menit yang dirata-ratakan untuk jam bersangkutan, lalu nilai terbesarnya dicatat juga sebagai *wind gust* atau *extreme velocity*) [3].

Data yang diberikan oleh BMKG Makassar untuk penelitian ini adalah data kecepatan angin harian rata-rata dan terbesar serta arahnya yang diolah oleh pihak BMKG sendiri berdasarkan data per jam di atas. Lamanya data adalah 20 tahun kontinyu, sehingga cukup *valid* untuk dipakai baik langsung dalam suatu perencanaan maupun untuk peramalan jangka panjang. Data asli BMKG ini tidak dapat disajikan seluruhnya di sini karena terbatasnya ruang untuk tulisan ini.

Mirip dengan distribusi tinggi gelombang yang ditimbulkannya, distribusi kecepatan angin mengikuti *Rayleigh distribution* dimana nilai-nilai yang kecil memiliki frekuensi yang sangat tinggi dibandingkan dengan nilai-nilai yang besar. Untuk dapat membangkitkan gelombang, kecepatan angin harus cukup besar dan cukup lama bertiup (durasi angin). Angin kategori *calm* (Beaufort Scale 0 - 0,51 m/s) sampai 'angin lemah' (gentle breeze 3,5 - 5,1 m/s) tidak dapat membangkitkan gelombang yang berarti meskipun durasinya cukup lama, sebaliknya meskipun terjadi angin yang besar tetapi durasinya sangat singkat tidak dapat pula terjadi gelombang.

Oleh karena itu tulisan ini menggunakan dua metode untuk menetapkan kecepatan angin rencana yaitu pertama 'Kecepatan Angin Rata-rata' yang maximum selama 20 tahun dan 'Kecepatan Angin Terbesar' (*wind gust*) yang maximum selama 20 tahun, masing-masing dengan arah angin yang bersangkutan. Metode yang menggunakan *wind gust* disebut juga metode *Fastest Mile Windspeed* [4].

Metode *Fastest Mile Windspeed*

Wind gusts dari setiap jam dalam sehari dipilih yang terbesar lalu ditabelkan sebagai 'angin terbesar harian'. Angin terbesar harian yang tercatat dalam Data Kecepatan Angin Terbesar dari BMKG itu diolah menurut metode yang diuraikan dalam *Coastal Engineering Manual* untuk mendapatkan kecepatan-kecepatan angin yang dapat membangkitkan gelombang.

Langkah pertama, angin dengan *extreme velocity* dipandang sebagai '*fastest mile windspeed*'. *Fastest mile windspeed* adalah kecepatan angin terbesar dalam menempuh jarak satu mil (1609 m), diberi simbol μ_f . Meskipun kecepatan ini cukup besar namun durasinya biasanya sangat singkat, umumnya kurang dari 2 menit, sehingga belum dapat membangkitkan gelombang; namun dalam proses naik dan turunnya dari kecepatan maksimum ini terdapat kecepatan angin yang cukup besar selama beberapa waktu yang mampu membangkitkan gelombang.

Kecepatan angin terbesar dari seluruh rekaman adalah 89 knot yang terjadi pada tgl 8 Juni 2007 dari arah Utara (1 rekaman), kedua 78 knot dari arah Barat terjadi pada 14 Mei 2006 (1 rekaman), ketiga 50 knot dari arah Selatan (1 rekaman). Baru pada kecepatan 45 - 40 knot terjadi 2 sampai 7 kejadian dengan arah dari Barat Daya, Barat sampai Barat Laut yaitu arah-arah terbanyak kejadian angin (Gambar 2 dan 3).

Angin 89 knot yang arahnya dari Utara nampaknya bukanlah angin yang normal, kemungkinan akibat tekanan udara yang *drop* tiba-tiba tidak terduga; maka dipakai nilai kedua terbesar yang arahnya sesuai arah angin terbanyak, Barat, yaitu 78 knot. Untuk nilai $\mu_f = 78 \text{ knot}$ dirubah ke satuan meter per second menjadi:

$$\mu_f = \frac{78 \times 1852}{3600} = 40.12 \text{ m/s}$$

Langkah kedua adalah menghitung durasi dari *fastest mile wind speed* itu (*duration averaged*):

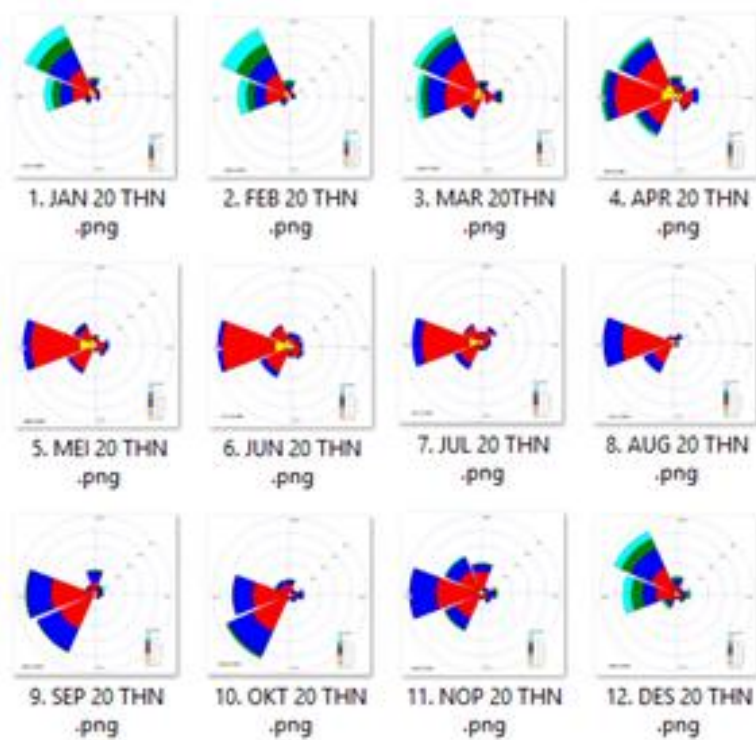
$$t_{\mu_f} = \frac{1609}{\mu_f} = 40 \text{ s}$$

Langkah ketiga, menghitung *1-hour averaged windspeed* yaitu kecepatan angin rata-rata dalam satu jam:

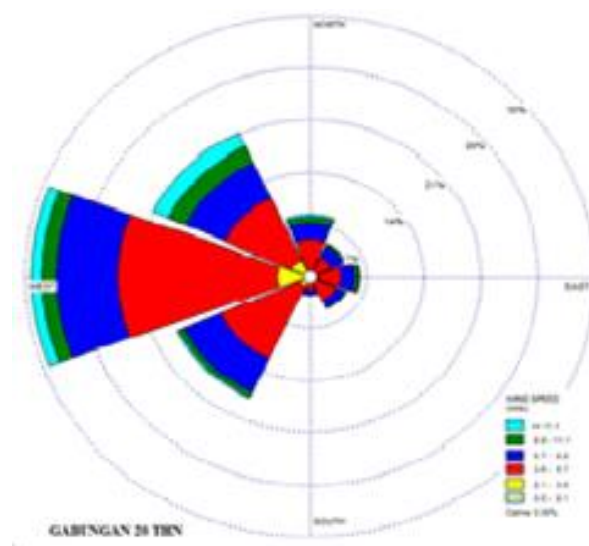
$$\frac{\mu_f}{\mu_{3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh\left\{0.9 \log_{10} \left(\frac{45}{t_{\mu_f}}\right)\right\}$$

$$\mu_{3600} = \frac{\mu_f}{1.29} = 31.1 \text{ m/s}$$

Inilah kecepatan angin terbesar yang bertiup selama satu jam yang diperhitungkan dapat membangkitkan gelombang.



Gambar 2: Perubahan arah dan kecepatan angin sepanjang tahun selama 20 tahun di pantai Makassar.



Metode Kecepatan Angin Rata-rata

Metode ini sudah lama dikenal dan umum dipakai, yaitu kecepatan angin per jam dikumpulkan per hari dan dirata-ratakan harian. Harga maximum tahunan dipakai untuk memprediksi angin maximum dengan periode ulang jangka panjang tertentu menggunakan distribusi Gumbel atau Weibull dll. Karena data angin yang terkumpul sudah cukup lama yaitu 20 tahun, cukup untuk merencanakan *revetment* atau pemecah gelombang gundukan batu sederhana, dan karena tujuan tulisan ini melihat gambaran relatif nyata dari gelombang di pantai Makassar, maka data yang ada langsung dianalisis untuk mendapatkan nilai maximumnya.

Data statistik yang diperoleh diperlihatkan pada Tabel 1. Angin maximum yang diperoleh adalah $\mu_m = 9.26$ m/s dengan durasi dianggap 24 jam.

Tabel 1 : Hasil Analisis Kecepatan Angin Rata-rata

<i>Descriptive Statistics (m/s)</i>	
Mean	2.11
Standard Error	0.01
Median	2.06
Mode	2.06
Standard Deviation	0.94
Sample Variance	0.88
Kurtosis	9.36
Skewness	2.18
Range	8.75
Minimum	0.51
Maximum	9.26
Sum	15222.66
Count	7229.00
Largest(1)	9.26
Smallest(1)	0.51
Confidence Level(95.0%)	0.02

Fetch dan Efek Lokasi Pengukuran Angin

Wilayah pembangkitan gelombang adalah Laut Jawa. Panjang wilayah pembangkitan, *Fetch*, dapat diukur secara sederhana menggunakan peta Google yaitu dari pantai Makassar ke arah Barat sampai pantai Timur pulau Sumatra (Gambar 4), diperoleh jarak kurang lebih 1500 kilometer. Tidak perlu mengukur ke kiri dan kanan 42° karena daerah perairannya kurang lebih persegi.

Pengaruh lokasi pengukuran yang terletak di bibir pantai dapat diabaikan atau $R_L=1$ [5, pp. 3-30], sehingga data kecepatan angin yang diperoleh di atas dapat langsung dipakai tanpa koreksi faktor lokasi.



Gambar 4: Panjang wilayah pembangkitan gelombang, Fetch, kurang-lebih 1500 km.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Tegangan Angin

Setelah pengaruh lokasi dapat diabaikan, kecepatan angin yang diperoleh di atas harus dikonversikan ke faktor tegangan angin U_A dengan menggunakan rumus:

$$U_A = 0.71 \mu^{1.23} \quad (1)$$

Sehingga diperoleh $U_{A3600} = 48.65 \text{ m/s}$ dan $U_{Am} = 10.97 \text{ m/s}$. Perlu diingat bahwa durasi untuk μ_{3600} adalah hanya 1 jam, sedangkan untuk μ_m adalah 24 jam.

Tinggi dan Periode Gelombang

Tinggi gelombang yang ditimbulkan oleh angin sangat bergantung kepada faktor-faktor antara lain kecepatan angin, durasi angin bertiup dan panjangnya lokasi angin bertiup, *fetch*; panjang *fetch* tidak selalu adalah jarak dari pantai ke pantai melainkan panjang daerah tekanan udara berbeda. Demikian pula lamanya angin bertiup; meskipun angin bertiup sangat lama, tetap ada batas keseimbangan tinggi gelombang yang dapat ditimbulkannya akibat keterbatasan daya angkat angin atau panjang *fetch*. Oleh karena itu perhitungan prediksi gelombang harus dilakukan dalam cara *fetch limited* atau *duration limited*.

Selain itu keadaan gelombang harus pula diperiksa apakah tidak melampaui keadaan *fully developed condition*. Kalau prediksi gelombang dihitung dengan rumus-rumus maka keadaan-keadaan batas tersebut sulit terlihat. Sebagai contoh untuk keadaan ini, panjang *fetch* yang 1500 kilometer itu kemungkinan besar akan melampaui keadaan *maximum condition for fully arisen sea*, jadi tidak terlalu banyak pengaruhnya. Oleh karena itu penggunaan nomogram untuk memprediksi gelombang tetap populer. Penelitian ini mempergunakan nomogram yang mula-mula dikembangkan oleh Sverdrup, Moskowitz dan Bretschneider lalu disempurnakan oleh CERC dan dimuat dalam Shore Protection Manual Figure 3-23 [5]. Nomogram ini sudah sangat terkenal sehingga tidak perlu lagi ditampilkan di sini.

Maka untuk U_{A3600} dan U_{Am} di atas dengan durasi berturut-turut 1 jam dan 24 jam serta *fetch* 1500 km, diperoleh tinggi gelombang signifikan untuk air dalam masing-masing sbb:

$$H_{s3600} = 2.3 \text{ m} \quad \text{dan} \quad T = 4.7 \text{ s.}$$

Sedang $H_{sm} = 3 \text{ m}$ dan $T = 9 \text{ s}$.

Kedua gelombang di atas terpilih dari harga yang terkecil dari perhitungan berdasarkan *fetch limited* dan *duration limited*; pada keduanya *fetch* mencapai *fully arisen seacondition* sehingga tidak diperhitungkan.

SIMPULAN DAN SARAN

Kedua gelombang di atas sama pentingnya. Walaupun yang pertama tingginya lebih kecil tetapi periodenya lebih cepat sehingga energi yang dapat dilepaskannya bisa lebih besar dari pada gelombang yang kedua. Sebaliknya gelombang yang kedua jelas lebih besar, unsur utama dalam karakteristik gelombang. Jadi keduanya harus diperhitungkan baik dalam perencanaan maupun dalam test model.

Gelombang-gelombang di atas adalah gelombang untuk air dalam. Dalam perjalanannya ke pantai gelombang itu dapat meninggi sebelum pecah (*shoaling*), sehingga lokasi suatu bangunan yang menghalanginya harus diketahui benar pada kedalaman berapa supaya dapat diperhitungkan efek dari keadaan belum pecah, sudah pecah atau tepat pecah saat menerpa bangunan di laut/pantai.

Gelombang-gelombang ini adalah gelombang signifikan untuk *return period* 20 tahun. *Return period* dan tinggi gelombang begini dapat langsung dipakai untuk bangunan pantai yang *self-adjusted* seperti *revetment*, *groin* atau pemecah gelombang dengan batuan bergradasi. Tetapi untuk bangunan di laut yang dapat rusak seketika seperti caisson atau platform yang berpenghuni, maka harus memakai H_{max} atau H_1 dengan *return period* 30, 50 bahkan 100 tahun. Karena distribusi tinggi gelombang mengikuti *Rayleigh distribution* yang sudah diketahui dengan baik maka tinggi H_1 dapat diambil sama dengan $1.68H_s$. Peramalan untuk *return period* yang lebih panjang dapat dilakukan dengan metode yang sudah banyak dipakai seperti Gumbel dan Weibul, data 20 tahun ini sangat memenuhi syarat untuk dipakai.

Metode prediksi ini belum memperhitungkan pengaruh-pengaruh tanah dasar laut dan refraksi gelombang karena keterbatasan data. Jika data bathimetri dan tanah dasar tersedia maka peramalan dapat dilakukan dengan SWAN method sehingga dapat mencakup wilayah *shallow water prediction*.



Gambar 5: Arah gelombang pada suatu badai tahun 2009 di Pantai Akkarena, Tanjung Bunga, terlihat jelas dari arah Barat Daya. (Sumber: Google Earth).

Kasus *recession* di Tanjung Bunga dan *sedimentation* di Teluk Losari sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut, sebab daerah itu telah menjadi daerah yang sangat bernilai. Data angin di atas telah menunjukkan bahwa angin terbesar dan terbanyak berasal dari Barat dan Barat Laut tetapi proses terjadinya *spits* di Tanjung Bunga membuktikan pukulan ombak seharusnya datang dari Barat Daya. Foto satelit (Gambar 5) dan masih banyak lagi foto-foto lain dari satelit menunjukkan hampir di sepanjang tahun ombak berasal dari Barat Daya. Ini menunjukkan terjadi proses refraksi gelombang di pantai Makassar, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk dapat menjelaskannya secara lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sakka, "Studi perubahan garis pantai di delta sungai Jeneberang, Makassar," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 3, No. 2, pp. 112-126, Desember 2011.
- [2] K. Umar, "Laju pendangkalan teluk Losari di kota Makassar," in *HATHI XXVII*, Ambon, 2011.
- [3] F. Rabung, "Pola Angin Pembangkit Gelombang Yang Berpengaruh Atas Morfologi dan Bangunan Pantai Sekitar Makassar," Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2012.
- [4] CEM, Coastal Engineering Manual, Washington D.C. (in 6 volumes): U.S. Army Corps of Engineers, 2011.
- [5] CERC, Shore Protection Manual..., Vicksburg, Mississippi: Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, 1984.